

**ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

Минько С.М., Ташлыков А.А., Минько М.А.

Научные руководители: Ташлыков А.А., доцент, к.т.н.;

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [sminko27@gmail.com](mailto:sminko27@gmail.com)

**AIR-ACCUMULATING POWER STATION**

Minko S.M., Tashlykov A.A., Minko M.A.

Scientific Supervisor: Tashlykov A.A., docent;

Tomsk Polytechnic University,

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [sminko27@gmail.com](mailto:sminko27@gmail.com)

**Проект Филиппова**

Прорывом в решении проблем современной энергетики явился проект А.Е. Филиппова «Ветроэнергетическая установка напорно-вытяжного действия» [1].

Изобретением Филиппова является идея, что энергию движения воздуха надо использовать для выработки электроэнергии не улавливая его в открытом пространстве, а посредством создания тяги в трубе. В данной схеме труба выполняет ту же роль, что и плотина для ГЭС, то есть концентрирует и направляет поток воздуха на электрогенератор. Но энергия потока воздуха в трубе (тяги) создается не только и не столько за счёт ветра, сколько за счёт разницы в температуре воздуха внутри трубы и в наружном воздухе (как известно тёплый воздух поднимается вверх). Поэтому данную электростанцию разумно назвать аэро-, или воздушной электростанцией. При этом в воздушной электростанции технологически становится возможным применить систему аккумуляирования электроэнергии посредством увеличения давления воздуха в баллоне сжатого воздуха.

Проект Воздушно-Аккумуляующей Электростанции (ВАЭС), схематично изображён на Рис. 1:

1. Труба (материал – железобетон, высота – 200 м, диаметр 15 м)
2. Баллон сжатого воздуха (материал – сталь)
3. Компрессор
4. Напорная камера (материал алюминий, форма - конус)
5. Сопло
6. Аэротурбина
7. Генератор
8. Входной патрубок
9. Вытяжная насадка
10. Нагревательная камера.

Стелками изображено направление движения потока воздуха.

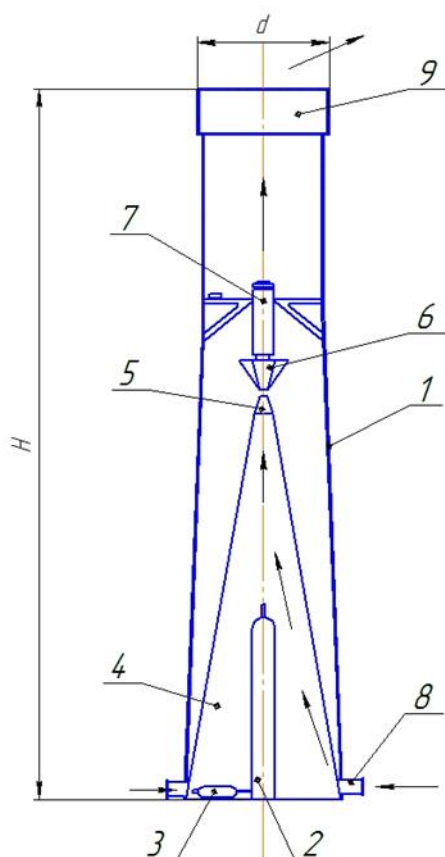


Рис. 1. Проект ВАЭС

#### Принцип работы ВАЭС

Воздух нагревается в нагревательной камере 10 и через входной патрубок 8 попадает в напорную камеру 4, находящуюся в трубе 1. Под действием силы тяги в трубе теплый воздух поднимается в верхнюю часть напорной камеры к соплу 5, при этом происходит его сжатие (увеличение давления и температуры). На выходе из сопла сжатый воздух попадает на аэротурбину 6, обеспечивая её вращение, а также вращение прикрепленного к ней ротора генератора 7. На статоре генератора 7 вырабатывается электрическая энергия, которая передаётся в сеть. Охлажденный воздух через вытяжную насадку 9 удаляется в окружающую среду.

При снижении потребности в электроэнергии ВАЭС, или наличия «лишней» внешней электроэнергии, данная «лишняя» электроэнергия направляется на компрессор 3, который закачивает воздух в баллон сжатого воздуха 2, увеличивая в нём давление. Таким образом, баллон сжатого воздуха ВАЭС становится аккумулятором электроэнергии – получить электроэнергию обратно можно просто стравливая воздух через клапан баллона в сопло напорной камеры.

Аэроэнергоустановка (АЭУ) ВАЭС включает в себя турбину, соединенный с ней ротор и статор. АЭУ предлагается разместить вертикально вдоль движения потока воздуха (Рис 2).

Спецификация:

1. Турбина (материал – алюминий)
2. Основа ротора – стеклопластиковая труба
3. Рабочие магниты ротора (материал – неодимовые магниты марки 48Н, форма – призма с

закруглёнными углами, количество 24, пар полюсов – 12)

4. Статор (стандартный – медная обмотка в пазах электротехнической стали)
5. Осевого магнитный подшипник (материал - неодимовый магнит марки 48Н, 2 диска, внутренний диск (магнитный заряд S-N) прикреплён к ротору, внешний магнит (магнитный заряд тоже S-N) прикреплён к статору)
6. Нижний магнитный ограничитель (нижний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к статору – верхний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к ротору)
7. Верхний магнитный ограничитель (нижний магнит на верхушке ротора (магнитный заряд S-N) – верхний магнит (магнитный заряд S-N) прикреплён к статору)

Вертикальное размещение позволит полностью исключить применение механических подшипников в АЭУ - это резко снизит нагрев конструкции от трения, исключит необходимость применения смазки, и обслуживания АЭУ.

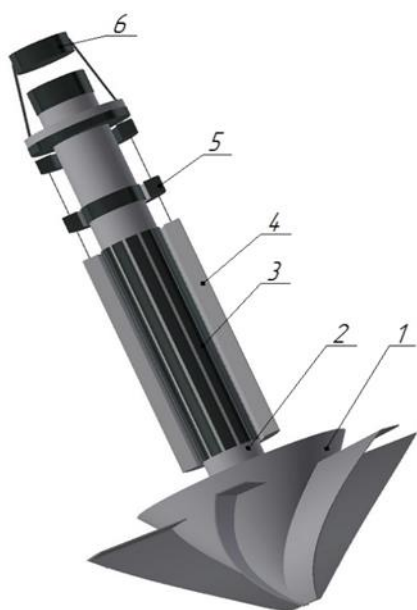


Рис. 2. Аэроэнергоустановка ВАЭС

#### Принцип работы АЭУ ВАЭС

Теплый воздух стабильно заданного давления из сопла напорной камеры подаётся на турбину. Турбина с закреплённым на ней ротором под давлением воздуха поднимается на нормативную высоту, одновременно вращаясь вокруг своей оси. При этом магнитный подшипник 5 обеспечивает строго вертикальное расположение ротора и не позволяет замкнуться ротору на статор. Если давление воздуха в сопле превысит нормативный уровень, то турбина с ротором начнёт двигаться вверх, но благодаря силе отталкивания между магнитами в верхнем магнитном ограничителе 7, система должна вернуться в нормальное положение (опускание ротора с турбиной ниже нормативного уровня не допускает нижний магнитный ограничитель 6).

Энергоустановка ВАЭС должна работать в автоматическом режиме. Поскольку давление воздуха в сопле должно быть строго заданной величиной, то в ВАЭС необходимо создать автоматическую систему регулирования подачи воздуха в сопло напорной камеры. Регулирование давления воздуха обеспечивается открыванием – закрыванием заслонки во входном патрубке (8 в Рис. 1), а также

открыванием-закрыванием выходного клапана в баллоне сжатого воздуха (2 в Рис. 1).

Постоянное нормативное давление воздуха при подаче на турбину обеспечивает постоянную нормативную скорость её вращения и позволяет получать на обмотках статора нормативный переменный ток частотой 50 Гц, который можно подавать в сеть без дополнительной доводки через выпрямитель и инвертор. Это нормативное давление должно обеспечивать небольшой (2-3 см.) подъём турбины над соплом напорной камеры и вращение турбины со скоростью 250 оборотов в минуту (3000 оборотов в мин. / 12 пар полюсов).

Турбина в ВАЭС должна быть изготовлена из алюминия (можно рассмотреть вариант магния). Плотность алюминия в 3 раза меньше стали, а теплопроводность в 4 раза больше. Основа турбины – стеклопластик, его плотность меньше стали в 3,7 раза. Соответственно, на вращение лёгкой турбины и лёгкого ротора надо затрачивать намного меньше энергии. В этом, а также в возможности применения неодимовых магнитов заключается ключевое преимущество ветроэнергетических установок по отношению тепловым парогазовым энергоустановкам. Но это преимущество может использоваться только при низких температурах – для алюминия критической является температура в 200 °С, для стеклопластика – 130 °С, для неодимовых магнитов марки 48Н – 120 °С. Поэтому предельной нормативной температурой воздуха в сопле напорной камеры должна быть температура 95-99 °С.

Источник энергии в ВАЭС – воздух с повышенной температурой и давлением. Учитывая высокую стоимость сооружений и оборудования экономическую эффективность получения электроэнергии в ВАЭС можно получить, только обеспечив бесплатный нагрев воздуха. Особых проблем в этом нет, учитывая масштабы бессмысленного выброса человечеством тёплого воздуха в атмосферу. В качестве бесплатных источников теплого воздуха можно рассмотреть тёплый воздух, выбрасываемый сегодня вентиляцией в атмосферу в свиноводческих комплексах и птицефабриках, в металлургических, машиностроительных, цементных предприятиях, в тепловых и атомных электростанциях и жилых помещениях.

В качестве бесплатных теплоносителей, которые могут нагреть воздух в нагревательной камере можно использовать отходы животноводства (навоз, помёт), золоотвалы и другие промышленные отходы, а также воду из общераспространённых подземных термальных источников.

Бесплатным нагревателем воздуха в ВАЭС является и компрессор с воздушным баллоном. Использование сжатия воздуха в баллоне в качестве способа аккумуляции энергии считается неэкономичным именно потому, что при этом процессе 50% энергии не сохраняется в виде высокого давления воздуха в баллоне, а излучается в виде тепла в окружающую среду. Но в ВАЭС тепло не пропадает – оно нагревает воздух в напорной камере, что приводит к увеличению выработки электроэнергии.

Трубу ВАЭС целесообразно изготавливать из материала с минимальной теплопроводностью, но с достаточной прочностью для того, чтобы выдержать ветровые нагрузки. В качестве такого материала можно рассмотреть различные виды бетона на железной арматуре (пенобетон, древобетон (арболит), опилкобетон). Труба должна быть окрашена в чёрный цвет. В ВАЭС чем больше труба, тем больше энергии можно получить на выходе из статора. Но есть технологические ограничения размеров трубы – максимальная высота современных труб составляет 440 метров (в Экибастузской ГРЭС), и строительство таких труб требует особых технологий, которые сложно осуществлять в массовом порядке. Поэтому,

оптимальным размером трубы для ВАЭС предлагается считать трубу высотой 200 метров и диаметром 15 метров.

Тяга в трубе рассчитывается по формуле:

$$Q = C A \sqrt{2 g H \frac{T_i - T_e}{T_i}}$$

Где:  $Q$  - тяга/поток тяги, м<sup>3</sup>/сек,  $A$  - сечение трубы, м<sup>2</sup>,  $C$  - коэффициент расхода (от 0.65 до 0.70),  $g$  - ускорение свободного падения, 9.8 м/сек<sup>2</sup>,  $H$  - высота трубы, м,  $T$  - средняя температура внутри трубы, К,  $T_e$  - температура наружного воздуха, К.

В трубе ВАЭС диаметром 15 м сечение трубы ( $A$ ) составит 177 м<sup>2</sup>. Высота трубы 200 м. Примем, что температура воздуха снаружи 20°C или 293 К, а внутри трубы 25°C или 298 К. (разница в 5°C обеспечивается низкой теплопроводностью железобетонных стен трубы), тогда:

$$Q = \frac{0.7 \cdot 177 \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 200 \cdot (298 - 293)}}{\sqrt{298}} = 1004 \text{ м}^3/\text{сек}$$

То есть в каждой точке трубы скорость ветра достигает 10 м/с (корень кубический из тяги) даже при штиле.

При стабильной скорости ветра 10 м/с обеспечивается относительно эффективная работа и обычных ветрогенераторов. В трубе диаметром 15 м можно поместить серийный ветрогенератор ALT-50 кВт с диаметром ветрового колеса в 13,6 м. Но он обеспечит полную загрузку генератора только мощностью 50 кВт. В патенте Филиппова мощность его энергетической установки при высоте трубы в 200 м. оценивается в 2300 -3000 кВт (возможность достижения такой мощности подтверждается прилагаемыми расчетами). В предлагаемом проекте ВАЭС ветровое колесо с КПД 10% заменяется аэротурбиной с КПД 90%. Благодаря увеличению разницы температур внутри трубы и снаружи можно увеличить мощность энергоустановки ещё в 4-5 раз. Поэтому на ВАЭС с трубой в 200 м можно обеспечить полную загрузку энергоустановки мощностью в 2000 кВт.

ВАЭС наиболее эффективна в странах с низкой температурой в зимнее время, то есть именно тогда, когда расход электроэнергии максимальный.

Так тяга в трубе при температуре воздуха на входе в трубу в 293 К (+20°C), и температуре воздуха наружи в 243 К (-30°C) составит 3205 м<sup>3</sup>/сек.

То есть тяга в трубе зимой при использовании нагретого воздуха увеличивается в 3 раза по сравнению с обычным уровнем, и соответственно можно получить в 3 раза больше электроэнергии в аэроэлектростанции за счёт утилизации бесплатного тепла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1) Пат. 2095619 РФ. Кл. F03D1/04. Ветроэнергетическая установка напорно-вытяжного действия/ А.Е. Филиппов. Заявлено 21.11.1995; Опубл. 10.11.1997.
- 2) Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии. –М: Томский политехнический Университет, 2008. – 187с.